

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды 2023» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecostr.ru/novosti/gosdoklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayushhej-sredy-2023/> (дата обращения 28.03.2025).
2. Технология мониторинга пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Сибири [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.imces.ru/media/uploads/tmplziups.pdf> (дата обращения 28.03.2025).
3. Марков Н.Г., Мачука К.Р. Модели и методы глубокого обучения для решения задач дистанционного мониторинга лесных ресурсов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 6. – С. 55–74. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4600
4. Маслов А.Д. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. Пушкино: ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства. – 2006. – 68 с.

Нгуен Хоанг Тиен (Вьетнам)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Филипас Александр Александрович канд. техн. наук, доцент

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ KUKA YOUNOT С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПОДХОДОМ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИКИ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Аннотация: Содержание работы посвящено разработке алгоритма решения обратной кинематики мобильного манипулятора KUKA youBot, учитывающего физические ограничения шарнира и исключающего проблему избыточности для задачи управления с 6 параметрами степеней свободы. Предложенный алгоритм обеспечивает новый подход, основанный на геометрических методах, для решения проблемы избыточности без использования дополнительных параметров.

Ключевые слова: обратная кинематика, управление, манипулятор, KUKA youBot, геометрический подход

Введение

Мобильные манипуляторы всегда привлекают повышенное внимание благодаря своей гибкости и возможности применения в различных задачах, вклю-

чая промышленность, образование, исследования и повседневную жизнь. KUKA youBot является ярким представителем таких платформ [1, 2].

Для управления манипулятором задача обратной кинематики является критически важной [3]. Однако, чтобы обеспечить мобильность, эти платформы не оснащаются мощными процессорами, так как это снижает их энергоэффективность. Поэтому использование вычислений на основе матричных методов для решения задачи обратной кинематики, аналогично стационарным системам, является нецелесообразным.

В настоящее время широко применяется аналитический метод, поскольку он позволяет получать результаты быстро и с высокой точностью. Однако мобильные платформы, такие как KUKA youBot, предоставляют 8 степеней свободы [4] (3 степени свободы от базы и 5 степеней свободы от манипулятора), что избыточно для задач, описываемых целевыми параметрами 6 степеней свободы. В работе [5] был предложен метод, включающий три дополнительных параметра для устранения этой избыточности. Однако использование дополнительных трех регулируемых параметров не является оптимальным для автономных задач.

Цель данной работы – разработка простого вычислительного алгоритма, основанного на геометрическом подходе, для решения задачи обратной кинематики манипулятора KUKA youBot с учетом устранения избыточности и физических ограничений суставов.

Входные данные задачи:

Начальное положение и ориентация базы: X_B, Y_B, Θ ;

Начальное положение суставов q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 ;

Целевая конфигурация (6-DOF): $X_{цель}, Y_{цель}, Z_{цель}, \alpha, \beta, \gamma$;

где α – угол вращения рабочего органа (end-effector) вокруг оси, направленной к цели, β – угол наклона рабочего органа в вертикальной плоскости, проходящей через цель; γ угол наклона рабочего органа в горизонтальной плоскости.

Параметры платформы:

– длина суставного сегмента: l_1, l_2, l_3, l_4

– пределы суставов: $q_1^{\min}, q_1^{\max}, q_2^{\min}, q_2^{\max}, q_3^{\min}, q_3^{\max}, q_4^{\min}, q_4^{\max}, q_5^{\min}, q_5^{\max}$.

Этапы решения:

1. Проверка входных данных: если $Z_{цель} > l_2 + l_3 + l_4$, то решение не существует
2. Определить угол поворота первого сустава q_1 :

$$q_1 = \gamma - \Theta$$

Если $q_1 > q_1^{\max}$ то $q_1 = q_1^{\max}$, а если $q_1 < q_1^{\min}$ то $q_1 = q_1^{\min}$.

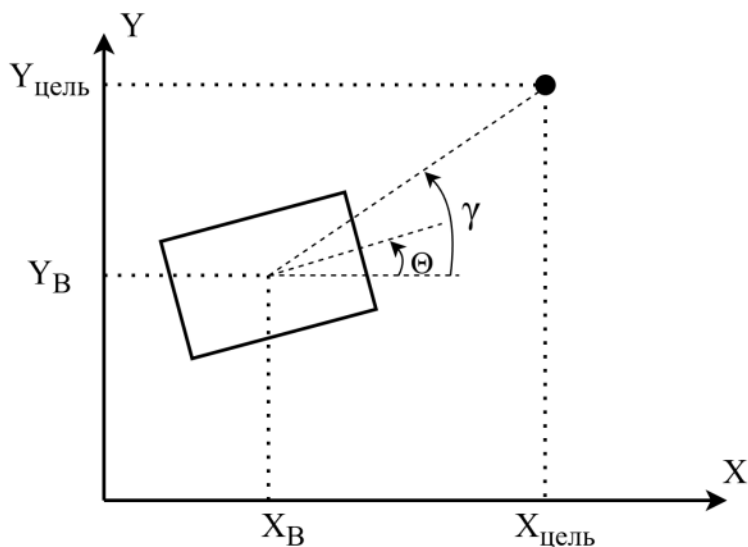


Рис. 1. Положения базы и цели на плоскости XY (глобальной)

3. Визуализировать проблему определения углов поворота 2, 3 и 4-го суставов q_2 , q_3 , q_4 :

Вычисление углов q_2 , q_3 , q_4 можно упростить, рассматривая проекцию в двумерной плоскости xz , которая вращается вместе с углом q_1 и всегда содержит суставы 2, 3 и 4. Для удобства расчет считается, что начало координат x начинается с соединения 4.

Желаемое положение сустава 4 определяется исходя из целевой конфигурации:

$$x_4 = 0$$

$$z_4 = Z_{цель} - l_4 \times \sin(\beta) - h_{base} - d_1$$

Если $z_4 > l_2 + l_3$ то решение не существует.

Положение корня манипулятора проецируется на эту плоскость и имеет координату $(x_{root}; 0)$.

Из желаемого положения сустава 4 возможные положения сустава 3 образуют дугу радиусом l_3 с центром в суставе 4. Аналогично, возможные положения сустава 3 относительно базы образуют дугу радиусом l_2 с центром в суставе 2.

Таким образом, определение положения сустава 3, удовлетворяющего условиям q_2 и q_4 сводится к поиску пересечения двух окружностей. Центр второй окружности может смещаться вдоль оси x (соответствует перемещению базы).

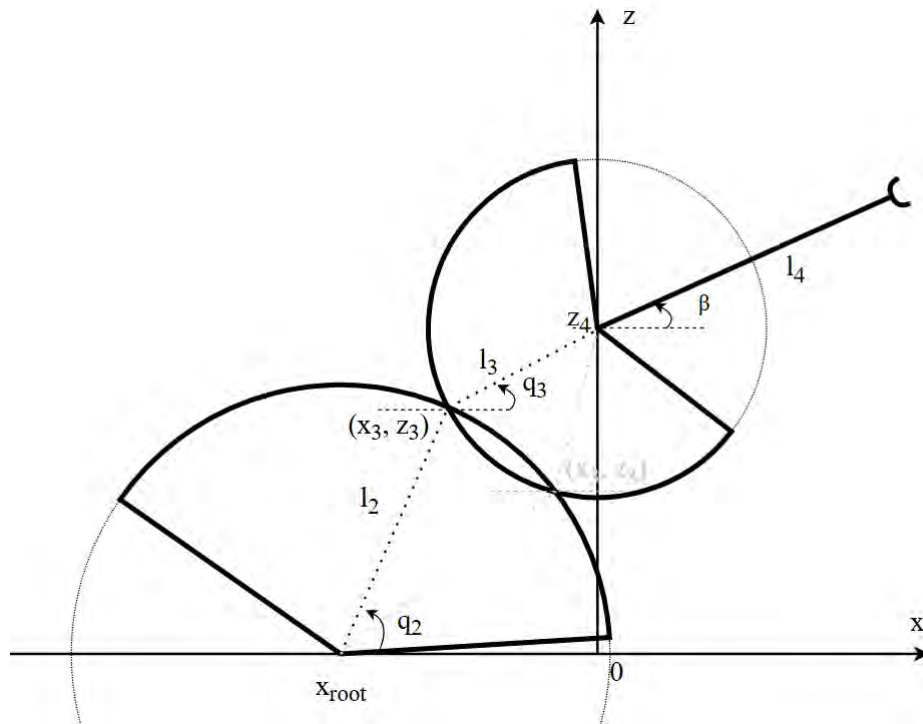


Рис. 2. Пример пересечения двух окружностей с центром в суставе 2 и 4 в плоскости xz

4. Определить углы поворота 2, 3 и 4-го суставов q_2 , q_3 , q_4 :

Чтобы появилось пересечение двух окружностей, координата z сустава 3 должна удовлетворять следующим условиям:

$$z_3 \in [z_3^{q_2_{\min}}; z_3^{q_2_{\max}}] \cap [z_3^{q_4_{\min}}; z_3^{q_4_{\max}}]$$

где $[z_3^{q_2_{\min}}; z_3^{q_2_{\max}}]$ - совокупность значений z_3 , рассчитанный по положению сустава 2; $[z_3^{q_4_{\min}}; z_3^{q_4_{\max}}]$ - совокупность значений z_3 , рассчитанный по положению сустава 4. Если пересечение двух совокупностей пусто, решения нет.

Для значений границы z_3 определяют соответствующие значения координаты x_3 .

Если не существует пересечение двух окружностей, базе манипулятора необходимо перемещаться на соответствующее расстояние так, чтобы граничные точки интервала z_3 совпадали по x_3 .

Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет найдена точка пересечения, удовлетворяющая условию q_3 , или пока не останется пар точек пересечения.

Если пересечение определено $(x_3; z_3)$:

$$q_2 = \arccos(x_3 \div l_2)$$

$$q_4 = \beta - \arctan((z_4 - z_3) \div (x_4 - x_3))$$

$$q_3 = \arctan((z_4 - z_3) \div (x_4 - x_3)) - q_2$$

При наличии двух точек пересечения, удовлетворяющие условию q_3 , выбирается местоположение ближе к начальному значению углов соединения.

5. Определить угол поворота 5-го сустава q_5 :

Согласно конфигурации KUKA youBot, при входных условиях угол q_5 влияет только на угол α , а угол α регулируется только с помощью q_5 . Имеем:

$$q_5 = \alpha$$

Если $q_5 > q_5^{\max}$ то $q_5 = q_5^{\max}$, а если $q_5 < q_5^{\min}$ то $q_5 = q_5^{\min}$.

6. Новые координаты базы

$$\Theta = \gamma - q_1$$

$$X_B = X_{\text{цел}} - (l_4 \times \cos(\beta) - x_{\text{root}}) \times \cos(\gamma)$$

$$Y_B = Y_{\text{цел}} - (l_4 \times \cos(\beta) - x_{\text{root}}) \times \sin(\gamma)$$

Результат тестирования

Тестирование алгоритма была проведено с помощью пакета Simscape в MATLAB Simulink. Упрощенная модель KUKA youBot была создана для запуска алгоритма.

Входные данные состоят из ряда значений целевого положения и ориентации конечного эффектора, которые вводятся последовательно в течение определенного периода времени.

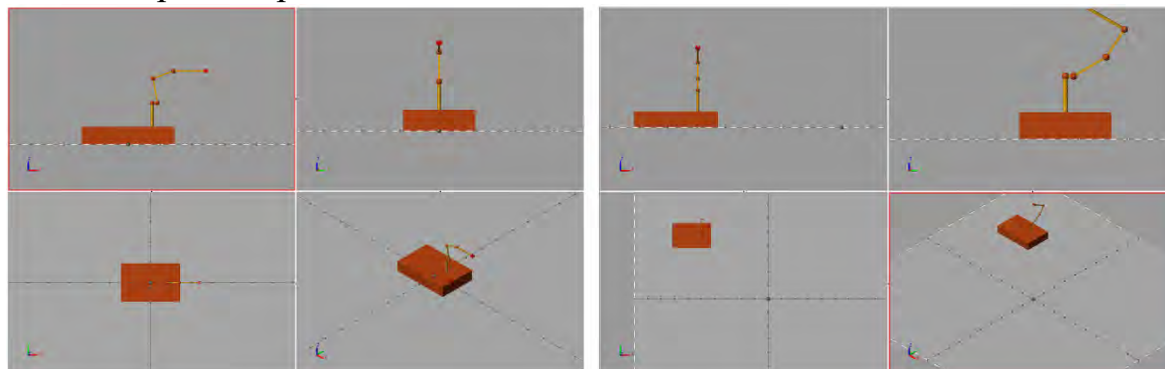


Рис. 3. Результатные позы манипулятора для целей $\{0,5;0;0,2;0^\circ;0^\circ;0^\circ\}$ и $\{-1;1;0,3;180^\circ;150^\circ;90^\circ\}$

Заключение

На основе геометрического подхода разработан алгоритм решения обратной кинематики манипулятора KUKA youBot. Предложенный алгоритм решает проблему избыточности, когда у робота больше степеней свободы, чем у задачи управления, без использования дополнительных параметров. Результаты тестирования соответствуют изначально поставленным целям.

Список литературы

1. Bischoff R., Prassler E., Huggenberger U. KUKA youBot – A Mobile Manipulator for Research and Education // Proc. of the IEEE International Conference on Robotic and Automation. – 2011.
2. Adamov B. I, Saipulaev G. R. Research on the Dynamics of an Omnidirectional Platform Taking into Account Real Design of Mecanum Wheels (as Exemplified by KUKA youBot) // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. – 2020. – Vol. 16. – N. 2. – P. 291–307. – DOI: /10.20537/nd200205
3. Kalasariya M., Patel V., Thakkar A. Comparative Study of Iterative Inverse Kinematics Methods for Serial Manipulator // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2018. – Vol 7. – P. 1-5.
4. Di Napoli G., Filippeschi A., Tanzini M., Avizzano C.A. A novel control strategy for youBot arm // ECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2016. – P. 482-487.
5. Sharma S., Kraetzchmar G. K., Scheurer C., Bischoff R. Unified Closed Form Inverse Kinematics for the KUKA youBot// ROBOTIK 2012; 7th German Conference on Robotics. – 2012. – P. 1-6.

Пань Мэнхуа (Китай), Чжан Цинжун (Китай), Ли Хаонань (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Клименов Василий Александрович, д. т. н, профессор

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СПЛАВА Cu-13Al-3Fe С ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРОЙ В РАСТВОРЕ 3,5 % NaCl

Аннотация: В данной работе рассмотрена коррозионная стойкость сплава Cu-13Al-3Fe с градиентной структурой в растворе 3,5 % NaCl. Описан метод потери веса и метод потенциодинамической поляризационной кривой для проверки коррозионной стойкости сплавов. Результаты, полученные двумя методами, были согласованы. Сделан вывод о том, что коррозионная стойкость сплава, полученного методом электронно-лучевой плавки, обусловлена пассивирующей пленкой, образующейся на его поверхности.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, 3,5 % NaCl, сплав Cu-13Al-3Fe, градиентная структура.

Введение

Сплавы на основе Cu-Al привлекают большое внимание исследователей, так как отличаются хорошей электропроводностью, теплопроводностью и коррозионной стойкостью. В частности, сплавы Cu-13Al-3Fe продемонстрировали